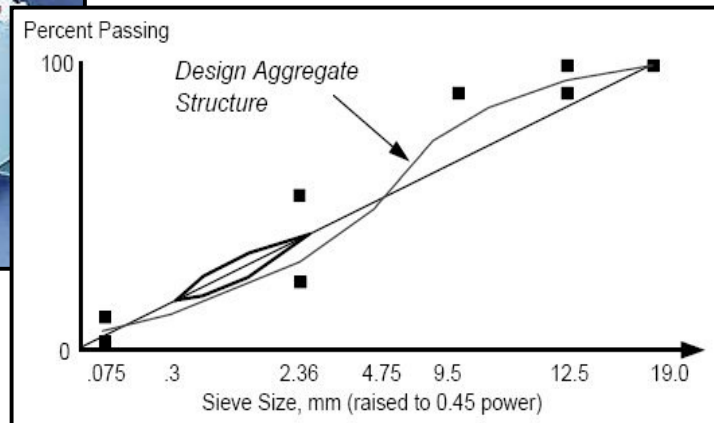


Metodología SUPERPAVE para el Diseño de Mezclas Asfálticas



1 Introducción

Con un presupuesto que alcanzó los 150 millones de dólares (fondos provenientes de Estados Unidos, Canadá, México y algunos países de Europa), se desarrolló entre octubre de 1987 y marzo de 1993 el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, más conocido por sus siglas en inglés **SHRP** (Strategic Highway Research Program). El resultado final de estas investigaciones es un nuevo sistema para la especificación de materiales asfálticos: **el método SUPERPAVE** (**SU**perir **PER**forming Asphalt **PAVE**ments).

El sistema SUPERPAVE entrega:

- Nuevas especificaciones para asfaltos
- Nuevas especificaciones para agregados
- Nuevos métodos de diseño de mezclas asfálticas
- Nuevos modelos de predicción del comportamiento

Enfocado en producir una mezcla que se comporte adecuadamente, el primer paso del análisis SUPERPAVE involucra la selección cuidadosa de los materiales y el proporcionamiento volumétrico de los mismos¹.

Los niveles superiores de análisis requieren la utilización de sofisticados ensayos, gran parte de los cuales aun se encuentran siendo perfeccionados. Estos niveles apuntan a determinar con precisión el comportamiento futuro de la estructura del pavimento ante variables como el clima y el tráfico.

¹ Nivel de análisis en el que se centra el presente documento.

2 Sistema Superpave

El método **SUPERPAVE** esta compuesto por tres niveles. Debido a que el análisis y el diseño de una mezcla en el sistema SUPERPAVE son complejos, la extensión del uso de esta metodología (según los investigadores del SHRP) depende del nivel de tránsito y de la función de la mezcla en el pavimento. La **Tabla 2.1** especifica los distintos niveles considerados para el análisis y diseño de las mezclas asfálticas en caliente mediante la metodología SUPERPAVE.

Tabla 2.1: Niveles de Análisis Método SUPERPAVE

Tránsito (ESAL)	Nivel de Diseño	Requerimientos de Ensayo
$ESAL < 10^6$	Primer Nivel de Análisis	Diseño volumétrico
$10^6 < ESAL < 10^7$	Análisis Intermedio	Diseño volumétrico y pruebas de predicción del comportamiento
$10^7 < ESAL$	Análisis Completo	Diseño volumétrico y pruebas de predicción del comportamiento adicionales

2.1 Primer Nivel

Este nivel requiere el diseño volumétrico, el cual involucra los siguientes aspectos:

- Selección del tipo de asfalto
- Selección de las propiedades de los agregados
- Preparación de especímenes de ensayo
- Selección del contenido de asfalto

Esta actividad se basa en la estimación de las propiedades volumétricas de la mezcla: contenido de vacíos de la mezcla (**Va**), vacíos en el agregado mineral (**VMA**) y vacíos llenos de asfalto (**VFA**).

 <p>BITUMIX CVV Especialidades Asfálticas</p>	MÉTODO SUPERPAVE	Julio 2005 Pág: 4 de 15
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------	----------------------------

2.2 Nivel Intermedio

Este nivel utiliza como punto inicial el análisis volumétrico del nivel anterior. Los ensayos establecidos para el nivel intermedio de análisis son:

- Ensayo de corte (SST, *SUPERPAVE shear test*)
- Ensayo de tensión indirecta (IDT, *indirect tensile test*)

Utilizando equipos IDT y SST, son realizados varios ensayos para lograr de esta manera una serie de predicciones del comportamiento de la mezcla.

2.3 Nivel Avanzado

Incluye la totalidad de los pasos realizados en los niveles anteriores, pero se realizan pruebas adicionales IDT y SST, a una amplia gama de temperaturas. Un completo análisis de la mezcla utiliza especímenes confinados SST y ofrece un mayor y más confiable nivel de predicción del comportamiento de la misma.

Utilizando la metodología SUPERPAVE, los resultados de los ensayos de comportamiento de las mezclas asfálticas permiten estimar con gran precisión el comportamiento del pavimento durante el transcurso de su vida útil, en términos de ejes equivalentes (ESALs). De la misma manera, permite estimar la cantidad de ejes equivalentes para alcanzar cierto nivel de resistencia al desplazamiento, a grietas por fatiga o a grietas por bajas temperaturas.

3 Primer Nivel de Análisis

El algoritmo de diseño para mezclas SUPERPAVE es el presentado en la **Figura 3.1**. El diseño, como se aprecia en la figura, se enfoca inicialmente en la selección del ligante asfáltico y del agregado.

3.1 Estudio y Selección de los Materiales

3.1.1 Asfaltos: Ensayos de Laboratorio

Las especificaciones SUPERPAVE se enfocan en simular por medio de ensayos de laboratorio los 3 estados críticos a los cuales se ve expuesto el asfalto durante su vida útil:

- **Primer estado:** asfalto original, estado que se da durante el transporte, almacenamiento y manejo del ligante asfáltico
- **Segundo estado:** envejecimiento producido luego de la fabricación y colocación de la mezcla asfáltica
- **Tercer estado:** envejecimiento de la mezcla asfáltica cuando ha permanecido en servicio por un largo período

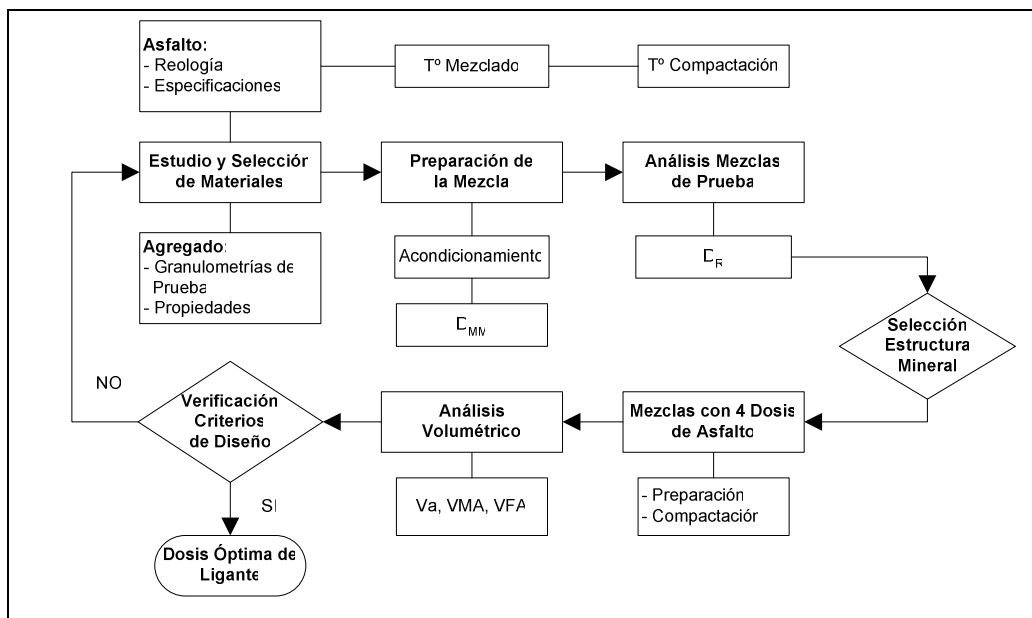


Figura 3.1: Algoritmo de diseño SUPERPAVE

Para simular el segundo estado, el endurecimiento producto de la oxidación que ocurre durante el mezclado y colocación de la mezcla, se utiliza el horno rotatorio

de película delgada **RTFOT** (*rolling thin film oven test*).

Posteriormente, mediante el ensayo **PAV** (*pressure aging vessel*) se oxida aceleradamente la mezcla, simulando el tercer estado (envejecimiento severo que sufre la mezcla después de haber estado en servicio por muchos años).

Las propiedades físicas de los asfaltos en el sistema SUPERPAVE son medidas sobre los asfaltos envejecidos en el laboratorio, simulando así las condiciones reales de operación del pavimento.

La medición de las propiedades físicas se realiza mediante la utilización de 4 equipos de ensayo, cuyo propósito se detalla en la **Tabla 3.1**.

Tabla 3.1: Equipos para determinar Propiedades Físicas del Asfalto

Equipo	Propósito
DSR (Dynamic Shear Rheometer)	Mide las propiedades del asfalto a T ^o alta e intermedia.
RV (Rotacional Viscometer)	Mide las propiedades del asfalto a alta T ^o .
BBR (Bending Beam Rheometer)	Mide las propiedades del asfalto a baja T ^o .
DTT (Direct Tension Tester)	Mide las propiedades del asfalto a baja T ^o .

3.1.2 Selección del Grado Asfáltico

Una parte importante del primer nivel de diseño SUPERPAVE son las nuevas especificaciones para la selección de los ligantes asfálticos, definidas por su grado de comportamiento **PG** (*Performance Grade*).

La nueva nomenclatura que define el grado de comportamiento de los asfaltos es **PG XX-YY**, donde:

- **PG = Performance Grade**
- **XX = Temperatura Máxima** (temperatura máxima a la cual el asfalto debe mantener sus propiedades durante el servicio)
- **YY = Temperatura Mínima** (temperatura mínima a la cual el asfalto debe mantener sus propiedades durante el servicio)

Los asfaltos definidos en el método SUPERPAVE se muestran en la **Tabla 3.2**.

Al realizar un diseño, el grado de comportamiento de los asfaltos (PG) se selecciona considerando la región geográfica y las temperaturas a las cuales estará sometido el pavimento (a partir de registros históricos de temperaturas del aire).

Tabla 3.2: Rangos para el grado PG

	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
PG	46	34, 46, 52
PG	52	10, 16, 22, 28, 34, 40, 46
PG	58	16, 22, 28, 34, 40
PG	64	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG	70	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG	76	10, 16, 22, 28, 34
PG	82	10, 16, 22, 28, 34

Deben ser utilizadas bases de datos de estaciones climáticas, con registros de temperatura ambiente por más de 20 años (como mínimo). Para cada año deben ser determinados:

- El promedio de las temperaturas máximas de los 7 días consecutivos más calurosos del año (temperatura del aire)
- La temperatura mínima del día más frío del año (temperatura del aire)

Para ambas series de datos (los cuales son considerados como XX_{aire} e YY_{aire}) deben ser determinados su promedio y la desviación estándar.

a) Temperaturas del Aire (T_{XXaire} y T_{YYaire})

La temperatura máxima y mínima del aire que debe ser considerada en el diseño, dependerá de la confiabilidad requerida (z) y de la desviación estándar de los datos (σ). Es decir:

- $T_{XXaire} = T_{Promedio} + z \cdot \sigma$
- $T_{YYaire} = T_{Promedio} - z \cdot \sigma$

Una confiabilidad de 50% considera un verano e invierno promedios. Por el contrario, confiabilidades mayores asumen veranos más calurosos e inviernos más fríos.

b) Temperaturas del Pavimento (T_{XX} y T_{YY})

Se calculan a partir de las temperaturas del aire y de un coeficiente (**Lat**) dado por la ubicación geográfica de la zona a pavimentar (latitud).

- $T_{XX} = (T_{XXaire} - 0.00618 \cdot Lat^2 + 0.2289 \cdot Lat + 42.2) \cdot (0.9545) - 17.78$
- $T_{YY} = T_{YYaire}$ (En Canadá: $T_{YY} = 0.859 \cdot T_{YYaire} + 1.7$)

c) Efecto del Tránsito: Velocidad de Carga y Tránsito Acumulado

El ensayo DSR simula la carga de un vehículo a 90 kilómetros por hora. A velocidades menores, producto que el tiempo de carga es mayor, la rigidez de la mezcla disminuye. Por ello, se recomienda aumentar (en función de la velocidad de carga) en 1 ó 2 niveles² el grado XX requerido, debido a que aumentar el

² Cada nivel corresponde a 6°C.

tiempo de carga sobre un pavimento es equivalente a aumentar la temperatura del mismo. Por ejemplo, si se requiere para una carga normal el grado **PG 64-22**, es recomendable utilizar el grado **PG 70-22** si las cargas serán lentas y el grado **PG 76-22** si las cargas serán estacionarias

Un mayor número de ejes equivalente totales significa que se producirán más ciclos de carga, por lo que las deformaciones permanentes acumuladas serán mayores. Por lo tanto, para evitar el ahuellamiento, debe ser seleccionado un asfalto más rígido a alta temperatura (elevar 1 nivel el grado XX).

3.1.3 Agregados: Propiedades de Consenso y Propiedades de Origen

El programa SHRP no desarrolló nuevos ensayos para los agregados, sin embargo, fueron adoptados ensayos adicionales y las especificaciones fueron reformuladas, con el objetivo de ajustarlas dentro del sistema SUPERPAVE. Es así como fueron definidas dos tipos de propiedades de los agregados: las propiedades de **consenso** y las de **origen**.

a) Propiedades de Consenso

Son consideradas críticas para alcanzar un alto comportamiento de la mezcla. Se asocian a la calidad del agregado para producir una mezcla resistente y durable.

Las propiedades de consenso (características de los agregados que pueden ser alteradas en las plantas de chancado y selección) son:

- Angularidad del agregado grueso
- Angularidad del agregado fino
- Partículas planas y alargadas
- Contenido de arcilla (equivalente de arena)

- Granulometría combinada

Estas propiedades deben reunir distintos niveles de calidad, los cuales dependen del nivel de tráfico (ejes equivalentes) y de la posición de la mezcla dentro de la estructura del pavimento.

Con la angularidad del agregado se busca alcanzar mezclas con alto grado de fricción interna, y por ende, una alta resistencia a los esfuerzos de corte. Ello permite mejorar la resistencia a la deformación permanente de la mezcla.

La limitación del porcentaje de partículas alargadas asegura la no susceptibilidad del agregado a triturarse durante el manejo de la mezcla y su posterior construcción y funcionamiento. Por otra parte, la limitación de la cantidad de arcilla en los agregados mejora la adherencia de los áridos con el asfalto.

b) Propiedades de Origen

Son aquellas propiedades asociadas a la calidad de la fuente del agregado. Si bien SHRP no especifica valores críticos, estas propiedades deben ser especificadas de acuerdo a la experiencia local.

Las propiedades de origen, las cuales dependen del lugar de obtención de los áridos, son:

- Tenacidad o dureza
- Durabilidad
- Materiales deletéreos

3.1.4 Graduación de los Agregados

Los investigadores del SHRP refinaron las especificaciones de graduación existentes y desarrollaron cartillas de graduación basados en la ecuación de Fuller. Dicha ecuación representa las curvas de máxima densidad (y mínimo VMA) para cada tamaño de áridos.

Producto de que utilizando la ecuación de Fuller se obtienen mezclas de fácil compactación, pero que tienden a ser muy frágiles y a poseer pocos vacíos en el agregado, el sistema SUPERPAVE utiliza cartillas en las cuales se incluyen puntos de control y una zona restrictiva. En estas cartillas, el tamaño de los tamices ha sido elevado a 0.45, por lo que la curva de máxima densidad queda representada por una recta, la cual va desde el origen hasta el tamiz por el cual pasa el 100% de los agregados (tamaño máximo). La **Figura 3.2** muestra un ejemplo de lo anterior.

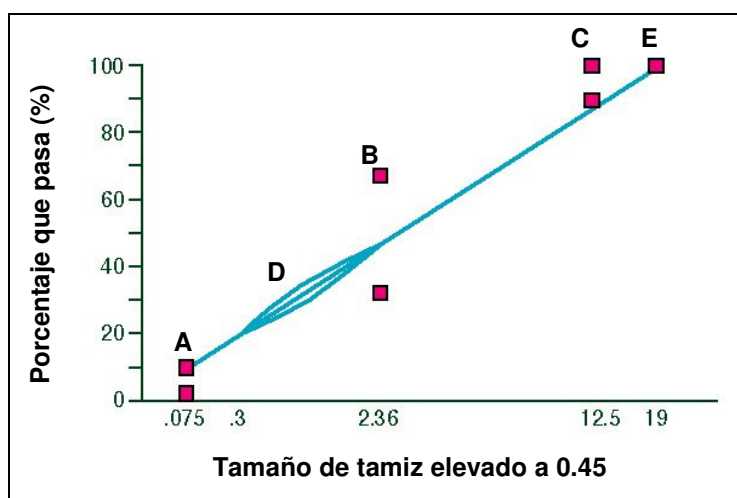


Figura 3.2: Ejemplo de especificaciones SUPERPAVE para agregados

En la **Figura 3.2**, el significado de los distintos puntos es el siguiente:

- **A, B, C:** Puntos de Control
- **D:** Zona Restrictiva
- **E:** Tamaño Máximo

La granulometría combinada debe pasar “a través” de los puntos de control, lo que asegura una determinada cantidad de vacíos para albergar el asfalto. Además, los puntos de control obligan a “cortar” la línea de máxima densidad (recta que va desde A hasta E), tendiendo a estructuras de agregados tipo “S”.

Por el contrario, la curva granulométrica de los agregados no debe pasar por la zona restrictiva (SHRP recomienda que pase bajo ella), lo que evita mezclas de áridos con una alta proporción de arena fina respecto a la totalidad de arena y graduaciones que sigan la línea fina de 0.45, lo cual no proporciona adecuados vacíos en el agregado mineral.

El diseño de la estructura de los áridos asegurará el desarrollo de un “esqueleto de piedra” resistente, el cual mejorará la resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento) y alcanzará suficientes vacíos para la durabilidad de la mezcla.

3.2 Mezcla Asfáltica

3.2.1 Acondicionamiento de la Mezcla y Compactación en Laboratorio

Dos características claves del método de diseño SUPERPAVE son:

- El acondicionamiento de la mezcla
- La compactación efectuada en laboratorio

Las mezclas asfálticas que son utilizadas para fabricar briquetas, son acondicionadas durante 2 horas dentro de un horno a la temperatura de compactación (las temperaturas de mezclado y compactación se determinan igual que en el método de diseño tradicional, en función de la viscosidad del asfalto). Ello permite simular el envejecimiento de “corto plazo” que se produce durante el

almacenamiento y transporte de la mezcla asfáltica, dando tiempo además al agregado para absorber el asfalto.

La compactación en laboratorio es realizada haciendo uso del **Compactador Giratorio** o **SGC** (SUPERPAVE Gyrotory Compactor, **Figura 3.3**). Este equipo efectúa una rotación con un ángulo de inclinación de 1.25 grados y aplica sobre la mezcla una presión de confinamiento de 600 KPa. La suma de ambos factores simula el efecto producido por los rodillos compactadores (el número de rotaciones requeridas, N_{DIS} , se especifica en AASHTO TP4-93).

El SGC incorpora un software que indica la altura del espécimen y el número de revoluciones, lo que permite determinar el grado de compactación de la briqueta a lo largo de todo el proceso de compactación (ingresando previamente el peso inicial y la densidad máxima de la mezcla).



Figura 3.3: Compactador Giratorio SUPERPAVE (SGC)

3.2.2 Diseño SUPERPAVE: Etapa de Prueba

Se deben preparar distintas mezclas de prueba (utilizando diferentes mezclas de agregados) a las cuales, luego de efectuada la compactación, se les determinan los parámetros volumétricos (porcentaje de asfalto **Pb**, porcentaje de vacíos **Va**, vacíos del agregado mineral **VMA** y vacíos llenos con asfalto **VFA**).

La premisa central del diseño volumétrico SUPERPAVE es que las muestras de prueba deben contener la cantidad adecuada de cemento asfáltico, tal que se alcance **exactamente** un 96% de compactación respecto a la D_{MM} (es decir, **4% de vacíos para N_{DIS}**).

Es por ello que se “estiman” nuevos parámetros volumétricos, utilizando los inicialmente calculados, para el caso en que el contenido de vacíos (**Va**) fuera exactamente 4%. Las fórmulas para realizar las estimaciones son las siguientes:

- $Pb_{ESTIMADO} = Pb_{INICIAL} - 0.4*(4 - Va_{INICIAL})$
- $\%VMA_{ESTIMADO} = \%VMA_{INICIAL} + C*(4 - Va_{INICIAL})$
- $\%VFA_{ESTIMADO} = 100* [(\%VMA_{ESTIMADO} - 4) / (\%VMA_{ESTIMADO})]$
- **C = 0.1** si $Va_{INICIAL} < 4\%$
- **C = 0.2** si $Va_{INICIAL} > 4\%$

Dichas estimaciones permitirán efectuar una apropiada y objetiva comparación entre las distintas mezclas de prueba utilizadas. El diseñador deberá elegir la “estructura de agregados de diseño”, es decir, aquella mezcla de prueba que de mejor forma cumpla con los requisitos señalados en la especificación AASHTO MP2-95.

	MÉTODO SUPERPAVE	Julio 2005 Pág: 15 de 15
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------	-------------------------------------------

3.2.3 Diseño SUPERPAVE: Diseño Definitivo

Seleccionada la estructura de agregados de diseño, deben ser preparados los siguientes especímenes:

- 2 con $Pb_{ESTIMADO}$
- 2 con $Pb_{ESTIMADO} + 0.5\%$
- 2 con $Pb_{ESTIMADO} - 0.5\%$
- 2 con $Pb_{ESTIMADO} + 1.0\%$
- 2 especímenes sueltos con $Pb_{ESTIMADO}$ (para determinar densidad máxima)

Los especímenes son preparados y ensayados de la misma manera que en el caso de la selección de la estructura de agregados. Con los resultados de las propiedades de la mezcla en función del contenido de asfalto (confeccionados los gráficos) se procede de la siguiente manera:

- Determinar Pb con el cual se obtiene 4% de vacíos de aire (V_a)
- Determinar las propiedades de la mezcla al contenido de asfalto seleccionado
- Comparar las propiedades de la mezcla con los criterios de diseño SUPERPAVE (AASHTO MP2-95)
- Evaluada la sensibilidad de la mezcla a la humedad, analizando la pérdida de adherencia entre el asfalto y el agregado por medio del ensayo ASSHTO T283

Con el paso anterior se concluye el diseño SUPERPAVE del nivel 1. Como se mencionó anteriormente en el presente artículo, si bien los niveles 2 y 3 han sido desarrollados, se encuentran aún en etapas de prueba y perfeccionamiento.